

Process for the manufacture of articles made of sintered fast steel

Publication number: FR2596067
Publication date: 1987-09-25
Inventor: COLLOMB MICHEL; BRUNEL GERARD
Applicant: METAFRAM ALLIAGES FRITTE (FR)
Classification:
- **international:** C22C33/02; C22C33/02; (IPC1-7): C22C33/02;
B22F3/16; C22C38/24
- **european:** C22C33/02A; C22C33/02F; C22C33/02K; C22C33/02K2
Application number: FR19860004309 19860319
Priority number(s): FR19860004309 19860319

[Report a data error here](#)

Abstract of FR2596067

Process for the manufacture of sintered articles made of fast steel of good compactness and having good frictional properties. This process of manufacture comprises the following stages: a) the starting powders are supplied: a1) prealloyed steel (C 0.6 to 1.5, W 1 to 17, Mo 0.1 to 10, Cr 3 to 15, V 0.5 to 6, Co < 15 %, Cu < 15 %, impurities and Fe: the remainder) a2) a powder of an alloy belonging to the group (cuprophosphorus, ferroboron) giving, in the case of the charge, an overall content of 0.7 to 1.5 % of metalloid element P or B a3) optionally graphite, the overall content of the charge being between 0.6 and 2.5 % a4) optionally additives (solid lubricant and/or cutting additive), b) these powders are mixed and c) they are compressed into the form of articles d) the articles are sintered under neutral gas at a temperature of between 1080 and 1160 DEG C e) they are cooled at at least 40 DEG C/min between the sintering temperature and 500 DEG C. The articles obtained are characterised by their composition, their structure, their compactness and their hardness. They are typically cold and/or hot rubbing components (temperature </= approximately 850 DEG C) such as: cams, skids, pump vanes, valve seats.

Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide

(19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
 INSTITUT NATIONAL
 DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
 PARIS

(11) N° de publication :
 (à utiliser que pour les
 commandes de reproduction)

2 596 067

(21) N° d'enregistrement national :

86 04309

(51) Int Cl^a : C 22 C 33/02, 38/24; B 22 F 3/16.

(12)

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

(22) Date de dépôt : 19 mars 1986.

(71) Demandeur(s) : ALLIAGES FRITTE METAFRAM. — FR.

(30) Priorité :

(72) Inventeur(s) : Michel Collomb et Gérard Brunel.

(43) Date de la mise à disposition du public de la demande : BOPI « Brevets » n° 39 du 25 septembre 1987.

(73) Titulaire(s) :

(60) Références à d'autres documents nationaux appartenants :

(74) Mandataire(s) : Guy Laurent-Atthalin, Péchiney.

(54) Procédé de fabrication de pièces en acier rapide fritté.

(57) L'invention concerne un procédé de fabrication de pièces frittées en acier rapide de bonne compacité et ayant de bonnes qualités de frottement.

Ce procédé de fabrication comprend les étapes suivantes :
 a) on approvisionne des poudres de départ :
 a1) acier préallié (C 0,6 à 1,5- W 1 à 17- Mo 0,1 à 10- Cr 3 à 15- V 0,5 à 6- Co < 15 %- Cu < 15 %- impuretés et Fe : le soude)
 a2) une poudre d'un alliage appartenant au groupe (cuprophosphore, ferro-bore) donnant pour la charge une teneur globale de 0,7 à 1,5 % en élément métalloïdique P ou B
 a3) éventuellement du graphite, la teneur globale de la charge étant comprise entre 0,6 et 2,5 %
 a4) éventuellement des additifs (lubrifiant solide et/ou additif de couple).

Les pièces obtenues sont caractérisées par leur composition, leur structure, leur compacité et leur dureté. Ce sont typiquement des pièces de frottement à froid et/ou à chaud (température ≤ 850 °C environ) telles que : cames, patins, palettes de pompes, sièges de soupapes.

FR 2 596 067 - A1

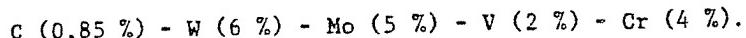
b) on mélange ces poudres et
 c) on les comprime sous forme de pièces
 d) on fritte les pièces sous gaz neutre à température comprise entre 1 080 et 1 160 °C
 e) on les refroidit à au moins 40 °C/mn entre la température de frittage et 500 °C.

FR

D

PROCEDE DE FABRICATION DE PIECES EN ACIER RAPIDE FRITTE

Le domaine de l'invention est celui des pièces en acier obtenues par frittage, et particulièrement celui de pièces frittées en acier rapide de bonne compacité et ayant de bonnes qualités de frottement, et de leur procédé de fabrication. Les éléments d'addition principaux des aciers rapides en question sont indiqués ci-après, ainsi que leur teneur typique :



10 Les éléments d'addition différents éventuellement présents, ainsi que les limites de teneurs, seront rappelés plus loin.

EXPOSE DU PROBLEME

15 On a cherché à réaliser par frittage dans des conditions de fabrication économiques, et en particulier avec une température de frittage basse, compatible avec l'utilisation des fours à tapis, c'est-à-dire voisine de 1120°C, des pièces en acier rapide ayant une bonne compacité et de bonnes qualités de frottement. La densité relative, exprimée en % de la densité maximale ou densité du produit coulé, doit être d'au moins 93 %. De façon à avoir de bonnes qualités de frottement, par exemple pour des sièges de soupape, on doit avoir une bonne dureté et une structure comportant des carbures finement dispersés, sans composé grossier.

25

ETAT DE LA TECHNIQUE CONNU

Dans le domaine des aciers rapides, il est connu de préparer des outils en acier rapide par frittage en phase liquide, dans le domaine 30 supersolidus: typiquement à 1250°C +/- 3°C sous vide. On obtient des aciers de bonne ténacité, mais le coût lié à la température élevée, à la précision de température nécessaire et au vide, est prohibitif pour des pièces de grande série économique telles que celles de l'invention.

35

Le problème qui se pose est de rechercher des conditions qui, pour les aciers rapides, permettent à la fois de faire le frittage à température typiquement inférieure ou égale à 1160°C, et d'obtenir une durée suffisante et une structure procurant de bonnes qualités de frottement, 5 sans qu'il y ait besoin d'une ténacité élevée.

EXPOSE DE L'INVENTION

Le procédé de fabrication de l'invention permet d'obtenir par frittage 10 à température comprise entre 1080 et 1160°C des pièces répondant aux critères énoncés précédemment : densité relative élevée (volume des porosités faible), structure à carbures finement dispersés, bonne dureté. Il comprend les étapes suivantes :

15

a) On approvisionne les poudres de départ suivantes :

a1) poudre d'acier préallié, de grains de préférence < 200 µm de composition (%) en poids :

20 C 0,6 à 1,5 % - Mn < 1 % - Si < 2 % - W 1 à 17 % - Mo 0,1 à 10 % Cr 3 à 15 % - V 0,5 à 6 % - Co < 15 % - Cu < 15 %.

Impuretés et Fe : le solde.

La limitation de la teneur en C à 1,5 % permet une bonne compressibilité.

25 a2) une poudre d'un alliage appartenant au groupe (cupro-phosphore, ferro-bore) donnant pour la charge une teneur globale de 0,7 à 1,5 % en élément métalloïdique (P ou B), et typiquement en grains < 70 µm;

a3) éventuellement du graphite, de préférence broyé en grains < 60 µm 30 et de préférence encore < 45 µm, la teneur globale en C de la charge étant alors comprise entre 0,6 et 2,5 %;

a4) éventuellement des additifs : lubrifiant solide et/ou additif de coupe.

35

b) On mélange ces poudres, après y avoir ajouté éventuellement une cire de compression;

c) On comprime ces poudres sous forme de pièce(s);

d) On fritte cette ou ces pièces sous gaz neutre à température choisie comprise entre 1080°C et 1160°C;

5

e) On refroidit la ou les pièces, avec une vitesse moyenne de refroidissement supérieure à 40°C/minute entre la température de frittage et 500°C, de façon à obtenir une dureté suffisante.

10 Les pièces obtenues par le procédé de l'invention ont la même structure que les pièces antérieurement frittées à 1250°C, leur compacité est très élevée et leur niveau de dureté, typiquement 60 HRc, permet leur utilisation dans toutes les applications classiques de frottement.

15 En particulier, on approvisionne de la poudre de cupro-phosphore, de préférence hypereutectique et contenant 7 à 15 % P, donnant, pour la charge, une teneur globale en P de 0,7 à 1,5 % et on fritte les pièces de préférence entre 1100 et 1140°C, typiquement 1120°C.

En particulier également, on approvisionne de la poudre de ferro-bore, 20 contenant de préférence 3,5 à 25 % B, en quantité donnant pour la charge une teneur globale en B de 0,7 à 1,5 %, et de préférence une teneur en B de 1,0 à 1,5 %, et on fritte alors les pièces entre 1130 et 1160°C.

Les essais ont montré que, bien que des réactions génératrices de liquide 25 se produisent avec le ferro-phosphore et avec le ferro-silicium, ces alliages-mères ne convenaient pas, le premier donnant une compacité insuffisante, et le second conduisant à une température de frittage de 1205°C, ce qui correspond à une technologie de four beaucoup plus coûteuse. Au contraire, les alliages-mères de l'invention conduisent 30 à des conditions de frittage économiques, aussi bien par le niveau des températures (1080 à 1160°C) que par la tolérance pratique de +/-10°C sur la température de frittage choisie.

Dans les divers cas envisagés, on utilise de préférence de la poudre 35 d'acier préallié qui contient (% en poids) :

C 0,6 à 1 % - W 1 à 7 % - Mo 2 à 6 % - Cr 3 à 5 % - V 1 à 3 % Co < 5

% et on ajoute éventuellement du graphite, la teneur globale en C de la charge étant alors comprise entre 0,8 et 1,5 %.

L'invention a aussi pour objet la ou les pièces frittées en acier obtenu(s), répondant à la description suivante :

- éléments de composition connus en eux-mêmes :

C 0,6 à 2,5 - Mn < 1 % - Si < 2 % - W 1 à 17 % - Mo 0,1 à 10 % - Cr 3 à 15 % - V 0,5 à 6 % - Co < 15 % - Cu < 15 %.

P, B et impuretés + Fe = le solde.

- éléments caractéristiques :

(1) la pièce frittée de l'invention contient :

. soit E < 0,1 % et P = 0,7 à 1,5 % et de préférence 0,9 à 1,3 %

. soit P < 0,1 % et B = 0,7 à 1,5 % et de préférence 1,0 à 1,5 %

(2) sa structure comporte une matrice en grande partie bainitique avec une répartition régulière de carbures fins < 3 μm et des agglomérats de steadite isolés de moins de 30 μm ;

20

(3) sa densité relative est supérieure à 90 % de la densité du matériau coulé;

(4) sa dureté HRc est supérieure ou égale à 40, et typiquement supérieure ou égale à 50. Cette dureté est d'autant plus forte que le refroidissement après frittage est plus rapide et elle peut atteindre 63 HRc.

Les différents exemples permettront de mieux comprendre les divers aspects de l'invention. Avant chaque essai de frittage, on a fait un essai dilatométrique sur un échantillon comprimé de façon à déterminer la température de début de la réaction génératrice de phase liquide, et la température sélectionnée pour l'essai de frittage est alors décalée d'environ 20°C au-dessus de cette température de début de réaction.

35 ESSAIS ET EXEMPLES

Les divers essais ont comporté un examen de la structure métallographique

sur coupe transversale, une mesure de densité, une mesure de dureté HRc et la plupart du temps une évaluation de la charge de rupture.

Premier essai

- 5 Un examen micrographique de la structure obtenue dans une pièce moulée en acier rapide de composition :
 C 0,8 à 1,5 % - W 3 à 7 % - Mo 2 à 6 % - Cr 3 à 5 % - V 1 à 3 %
 impuretés + Fe : le solde
- 10 a révélé un réseau régulier et continu de carbures eutectiques, qui n'est pas observé dans la structure des pièces frittées de l'invention.

Deuxième essai

- on a composé la charge comme suit :
- 15 . 88,2 % de poudre de préalliage (A) de composition (% en poids) :
 C 0,9- Cr 4- Co 0,3- Cu 0,1- Mn 0,2- Mo 4,9- Ni 0,3- O 671 μm - P 0,020-
 S 0,013- Si 0,1- V 1,9- W 6,3
 . 8 % de cupro-phosphore à 14% de P (soit 1,1 % de P)
 . 0,5 % de graphite
- 20 . 2 % de lubrifiant solide MoS₂
 . 0,5 % de MnS (additif de coupe)
 . 0,8 % de stéarate de Zn (cire de compression) qui se volatilisera lors du frittage)
- on l'a comprimé en bagues Ø 40 x 25 x hauteur 10 mm
- 25 - on a effectué le frittage à 1110°C sous N₂ technique sec, avec maintien de 30 mn au palier de 1110°C et on a refroidi, en 10 minutes, de 1110 à 500°C.

Les propriétés des pièces obtenues étaient les suivantes :

- 30 . densité : 7,9 soit 96 % de la densité du matériau coulé correspondant (sans phosphore)
 . dureté HRc : 60
 . charge de rupture : 460 MPa.
- 35 La structure sur coupe micrographique présente les particularités suivantes:
 - répartition régulière de très fins carbures (< 2 μm , en blanc sur

- micrographie), espacés de 3 à 5 μm , dans une matrice à plus de 80 % bainitique avec quelques grains martensitiques;
- agglomérats (10-15 μm en blanc) de carbures-phosphures, produits de la réaction eutectique Fer-Phosphore-Carbone;
- 5 - fine dispersion de particules de lubrifiant solide (3 à 5 μm , en gris) espacés de 20 à 25 μm , dans la matrice.

Les caractéristiques de ces pièces selon l'invention sont conformes aux impératifs choisis, et l'ensemble des essais montre qu'il suffit 10 de tenir la température de frittage choisie à $\pm 10^\circ\text{C}$, ce qui est un gros avantage en matière de technologie de four.

Troisième essai

La composition de la charge était celle du deuxième essai, à l'exception 15 des deux éléments suivants :

- . 92,2 % de poudre de préalliage (A)
- . seulement 4 % de poudre de cupro-phosphore à 14 % de P (soit 0,56 % de P).

20 La compression et le frittage ont été effectués de la même façon que dans le deuxième essai. Les propriétés des pièces frittées obtenues sont :

- densité : 7,2 soit 87 % de la densité à l'état coulé;
 - dureté : HRc 28 faible
- 25 - charge de rupture en traction : 370 MPa
- structure métallographique : porosité importante, représentant 13 % du volume (sur une coupe, des porosités de 15 à 30 μm), répartition régulière de très fins carbures ($< 2 \mu\text{m}$, en blanc sur la coupe) espacés de 3 à 5 μm dans la matrice en grande partie bainitique.

30 Les résultats de cet essai sont mauvais, la compacité et la dureté sont insuffisantes. L'addition de P apparaît insuffisante.

Quatrième essai

35 La composition de la charge était celle du deuxième essai, à l'exception des deux éléments suivants :

- . seulement 6 % de cupro-phosphore à 14 % P (soit 0,84 % de P);

- . pas de lubrifiant solide ni d'additif de coupe;
- . 90,7 % de poudre de préalliage (A).

La compression et le frittage ont été effectués de la même façon que
5 dans le deuxième essai.

Les propriétés après frittage étaient les suivantes :

- densité 8,0, soit 97 % de la densité à l'état coulé;
 - dureté HRc 50
 - 10 - charge de rupture : 410 MPa
 - structure métallographique semblable à celle du deuxième essai, mais sans particules de lubrifiant solide.
- L'addition de 0,84 % de P conduit ici aux propriétés recherchées, après un frittage à 1110°C.

15

Cinquième essai

Composition de la charge du deuxième essai avec les modifications suivantes :

- . 86,2 % de poudre de préalliage (A);
- 20 . 10 % de poudre de cupro-phosphore à 14 % de P (soit 1,4 % de P).

Le mode d'obtention des pièces frittées est le même que précédemment.

Les propriétés obtenues sont les suivantes :

- 25 - densité : 8,0 soit 97 % de la densité à l'état coulé;
- dureté HRc 45;
- charge de rupture : 450 MPa;
- structure métallographique semblable à celle du deuxième essai, à l'exception de : agglomérats intergranulaires ($10\text{--}15 \mu\text{m}$) de carbures-phosphures en légèrement plus grande quantité, et quelques îlots de cuivre ($5\text{--}20 \mu\text{m}$).

Sixième essai

- On a augmenté encore la teneur en cupro-phosphore : même composition de la charge que dans le deuxième essai, avec les modifications suivantes:
- . 86,2 % de poudre de préalliage (A)
 - . 14 % de cupro-phosphore à 14 % de P, soit une teneur globale en P

dans la charge de 2 %.

La composition et le frittage ont été faits dans les mêmes conditions.

Les propriétés obtenues sont les suivantes :

- densité : 8,0 soit 97 % de la densité à l'état coulé;

5 - dureté HRc 45

- charge de rupture : 330 MPa;

- structure : les carbures forment un réseau continu avec les phosphures, et il y a de grosses plages de cuivre, de l'ordre de 60 µm.

10 Avec cette teneur en P trop importante, l'alliage fritté obtenu est fortement fragilisé. Les cinq essais sur l'addition de cupro-phosphore montrent que la teneur en P de la charge doit être maintenue entre 0,7 et 1,5 % et de préférence entre 0,8 et 1,3 % pour avoir à la fois : une bonne compacité et une répartition régulière de carbures fins, avec 15 un minimum d'inclusions ou agglomérats isolés de moins de 30 µm.

Septième essai

On a préparé une charge comportant la même addition de cupro-phosphore que dans le deuxième essai, mais avec un préalliage (B) de composition 20 différente :

. 90,7 % de préalliage (B) de composition (% en poids) :

C 1,4- Cr 3,7- Co 7,7- Mn 0,14- Mo 9,6- Ni 0,5- O 500 ppm

P 0,02- S 0,01- Si 0,1- V 1,3- W 1,9

. 8 % de cupro-phosphore à 14 % de P (soit 1,1 % de P et 1,14 % de teneur 25 globale en P dans la charge)

. 0,5 % de graphite

. 0,8 % de stéarate de Zn (cire de compression).

Il n'y avait pas de lubrifiant solide, ni d'additif de coupe. La 30 compression, le frittage et le refroidissement ont été faits comme dans le deuxième essai. Les propriétés des pièces obtenues sont les suivantes:

- densité 7,8 soit 96 % de la densité à l'état coulé,

- dureté HRc 54

35 . La structure obtenue est semblable à celle des pièces frittées du deuxième essai, sans lubrifiant solide.

Huitième essai

On a fait le même type d'essai avec un troisième préalliage (C). La composition de la charge était :

. 90,7 % de préalliage (C) de composition (% en poids) :

- 5 C 1,52- Cr 4,8- Co 5,2- Mn 0,2- Mo 0,24- Ni 0,5- P 0,02- S 0,01- Si 0,1- W 12,9- V 5,1
- . 8 % de cupro-phosphore à 14 % de P (1,1 % de P ou 1,14 % de P dans la charge)
- . 0,5 % de graphite
- 10 . 0,8 % de cire de compression.

La compression et le traitement de frittage ont été faits comme précédemment. Les propriétés des pièces obtenues sont les suivantes:

- densité 7,9, soit 95 % de la densité à l'état coulé;

- 15 - dureté HRc 55;

- charge de rupture : 420 MPa.

- . La structure obtenue est semblable à celle obtenue dans le cas du deuxième essai : matrice en grande partie bainétique avec une dispersion très fine de carbures < 3 µm et des agglomérats de carbures-phosphures de 5 à 10 µm.

Ainsi, le changement de préalliage conduit à des résultats semblables avec une même addition de cupro-phosphore.

25

Neuvième essai

On a préparé une charge avec du ferro-bore :

. 94,2 % de préalliage (A)

- . 5 % de ferro-bore à 25 % de B (soit une teneur globale en B dans la charge de 1,25 %)

. 0,8 % de stéarate de Zn (cire de compression).

- On a comprimé en bagues Ø 40 x 25 x hauteur 10 mm sous 600 MPa, et on a traité avec palier de 30 mn à 1150°C sous N₂ technique, puis 35 refroidissement avec une vitesse moyenne de 60°C par minute entre 1150 et 500°C.

Les propriétés obtenues sont :

- densité 7,8 soit 95 % de la densité à l'état coulé,
- dureté HRC 48.

5 La structure obtenue est semblable à celle observée dans le cas d'une addition de P au moyen du cupro-phosphore comprise entre 0,84 % (4^e essai) et 1,4 % (5^e essai).

Dixième essai

10 On a préparé une première charge avec du ferro-phosphore :

- . 94,2 % de préalliage (A)
- . 5 % de ferro-phosphore à 22 % de P (soit 1,1 % de P dans la charge)
- . 0,8 % de cire de compression.

15 On l'a comprimée et frittée 30 mn à 1110°C sous N₂ sec. La densité obtenue : 7,35 soit 89 % de la densité à l'état coulé est insuffisante. La dureté est bonne : HRc 44.

20 Un résultat meilleur a été obtenu avec une charge modifiée par introduction de 0,5 % de graphite : densité de 7,5, soit 91 % de la densité à l'état coulé. Le ferro-phosphore donne donc des densités relatives insuffisantes vis-à-vis de l'objectif fixé.

Onzième essai

25 On a testé une addition de ferro-silicium. La composition de la charge était :

- . 91,2 % de préalliage (A)
- . 8 % de ferro-silicium à 75 % Si (soit une teneur globale en Si dans la charge de 6,1 %)
- . 0,8 % de cire de compression.

L'essai préalable dilatométrique a montré que, en-dessous de 1205°C, la réaction génératrice de phase liquide ne se produisait pas.

35 Après compression, on a donc fritté 30 mn à 1205°C sous N₂ sec. La densité obtenue est de 7,7 soit 93 % de la densité à l'état coulé.

Douzième essai

On a testé une addition de 3 % Si + 0,5 % C, la charge ayant comme composition : 95,7 % de préalliage (A) + 3 % Si + 0,5 % C + 0,8 % de cire de compression.

5 Le frittage a dû être fait à 1205°C. On obtient une densité de 8,1 soit 98 % de la densité à l'état coulé.

Il est donc possible d'obtenir par addition de Si des pièces de dureté et de structure valables, mais cela avec un frittage aux environs de 10 1200°C nécessitant une technologie de four différente et coûteuse, ne répondant pas au problème posé de conditions de frittage économiques.

15 APPLICATIONS

Les pièces frittées obtenues par le procédé de l'invention sont typiquement des pièces de frottement à froid et/ou à chaud (à température maximale de l'ordre de 850°C) telles que : cames, patins, palettes de 20 pompes, sièges de soupapes, pièces diverses résistant à l'usure.

teneur globale en P de 0,8 à 1,3 %.

4. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'on approvisionne de la poudre de ferro-bore et en ce qu'on fritte la ou les pièces à 5 température comprise entre 1130 et 1160°C.

5. Procédé selon la revendication 4, caractérisé en ce qu'on approvisionne de la poudre de ferro-bore en quantité donnant pour la charge une teneur globale en B de 1,0 à 1,5 %.

10 6. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, caractérisé en ce que la poudre d'acier préallié approvisionnée contient (% en poids): C 0,8 à 1,5 %- W 3 à 7 %- Mo 2 à 6 %- Cr 3 à 5 %- V 1 à 3 %- Co < 5 % et en ce qu'on ajoute éventuellement du graphite, la teneur globale 15 en C de la charge étant alors comprise entre 0,8 et 1,5 %.

REVENDICATIONS

1. Procédé de fabrication de pièces frittées en acier rapide, comprenant les étapes suivantes :

a) on approvisionne les poudres de départ suivantes :

5 a1) poudre d'acier préallié de composition (% en poids) :

C 0,6 à 1,5 % - Mn < 1 %- Si < 2 %- W 1 à 17 % - Mo 0,1 à 10 %- Cr 3
à 15 %- V 0,5 à 6 %- Co < 15 %- Cu < 15 %
impuretés et Fe : le solde

10 a2) une poudre d'un alliage appartenant au groupe (cupro-phosphore, ferrobore), donnant pour la charge, une teneur globale de 0,7 à 1,5 % en élément métalloïdique (P ou B)

a3) éventuellement du graphite, la teneur globale en C de la charge étant alors comprise entre 0,6 et 2,5 %

15 a4) éventuellement des additifs : lubrifiant solide et/ou additif de coupe.

b) On mélange ces poudres, après y avoir ajouté éventuellement une cire de compression.

20 c) On comprime ces poudres sous forme de pièce(s).

d) On fritte cette ou ces pièces sous gaz neutre à température choisie comprise entre 1080 et 1160°C.

25 e) On refroidit la ou les pièces, avec une vitesse moyenne de refroidissement supérieure à 40°C/minute entre la température de frittage et 500°C.

30 2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'on approvisionne de la poudre de cupro-phosphore et en ce qu'on fritte la ou les pièces à température comprise entre 1100 et 1140°C.

3. Procédé selon la revendication 2, caractérisé en ce qu'on approvisionne de la poudre de cupro-phosphore en quantité donnant pour la charge une